



---

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА  
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

---

**DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-8**

УДК 621.311.25:621.316

С. В. Галько<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

С. М. Дудніков<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-0337-0707

О. О. Мірошник<sup>2</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-6144-7573

О. М. Мороз<sup>2</sup>, д-р техн. наук

ORCID: 0000-0002-8520-9211

І. М. Трунова<sup>2</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7510-4291

<sup>1</sup>*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

<sup>2</sup>*Державний біотехнологічний університет, м. Харків  
e-mail: galkosv@gmail.com, тел.: +380674217508*

**РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ РОБОТИ КОМБІНОВАНОЇ  
СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ  
ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

**Анотація.** В статті наведено алгоритми прогнозування зміни обсягів споживання електричної енергії з централізованих та локальних джерел у складі комбінованої системи електропостачання. Розроблено залежність інтегрованого обліку погодинних, добових та сезонних змін споживання електроенергії від централізованих та локальних систем енергопостачання. Запропоновано використовувати вдосконалений метод техніко-економічного обґрунтування інвестиційних рішень на етапах формалізації технічного завдання, що базується на оцінці прогнозованих допустимих витрат на будівництво локального електропостачання, що дозволить споживачам отримати позитивний економічний ефект та зменшити кількість альтернативних рішень.

**Ключові слова:** відновлювальна енергетика, локальна система енергопостачання, електропостачання, математична модель, енергоефективність

**Постановка проблеми.** У комплексі завдань енергозабезпечення використання відновлюваних джерел (ВДЕ) обґрунтовано у багатьох сферах діяльності: енергоефективність та економічність викопного палива [1-3], яке використовується для централізованого енергопостачання; зменшення частки енергоносіїв у собівартості сільськогосподарської продукції [4, 5] та вплив на навколишнє середовище [6-9]. Відновлювана енергетика має свої особливості, наприклад, більш доцільне використання в локальних інтегрованих

системах енергопостачання [8, 10-12]. Відповідні особливості та напрямки повинні враховуватися як при автономному використанні, так і при побудові комбінованих систем електропостачання [13]. Комбінована система електропостачання - це система, в якій локальна система (ЛС) підключена паралельно до централізованої системи електропостачання (СЕС) і споживачів через блок автоматичної комутації потужності (АКП) [14-16], як показано на рисунку 1.

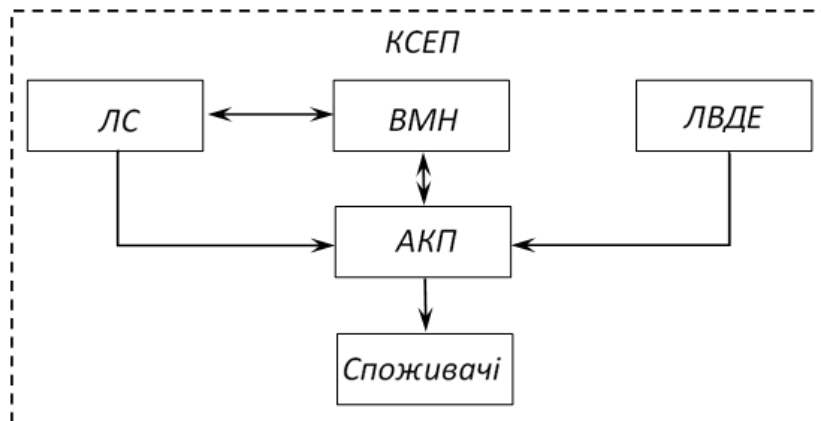


Рис. 1. Блок-схема КСЕС: ЛС – локальна система; ВМН - високі маневрові навантаження; ЛВДЕ – локальні відновлювані джерела енергії; АКП – блок автоматичної комутації потужності; КСЕС – комбінована система електропостачання.

СЕС виступає акумулятором для відновлюваних джерел і одночасно резервним джерелом для споживача. Такі системи вимагають додаткових високих маневрових навантажень (ВМН) [9, 17]. Але ВМН сьогодні мають високу вартість і погіршують економічну ефективність. В умовах України пропонуються різні варіанти вирішення відповідної проблеми.

*Аналіз останніх досліджень.* Часткове вирішення цієї проблеми розглядається, наприклад, за рахунок можливості динамічного управління конфігурацією мережі [10, 18, 32]; використання біогазових, сонячних [19-21], вітрових [22-23] установок як ВМН [11, 24] тощо. Але такі системи рекомендується будувати з економічним ефектом, цінність якого слід передбачити ще на ранніх етапах проектування [33]. Управління показниками економічного ефекту таких систем покладено на АКП.

*Формування цілей статті.* Побудова алгоритмів автоматизованої обробки вхідної інформації для обґрунтування прогнозованого економічного ефекту від впровадження комбінованої системи електропостачання в умовах невизначеності.

*Основна частина.* Для забезпечення стабільної безперервної роботи автоматизованої системи електропостачання доцільно



обґрунтувати математичну модель опису графіків споживання електроенергії. Відповідний графік буде постійно зростати. Припустимо, що КСЕП забезпечує активною електроенергією споживачів, зміни споживання яких характеризуються рівнянням (1).

$$W_{КСЕП}(jt) = W_0 + W_1 \frac{t_j}{T} + W_2 \sin\left(\frac{\pi t_j}{T}\right) + W_3 \sin\left(\frac{2\pi t_j}{T}\right) + \dots + W_{n+1} \sin\left(\frac{n\pi t_j}{T}\right), \quad (1)$$

де  $W_0$  – початкове («еталонне») значення кількості спожитої електроенергії, кВт·год;

$W_1$  – величина постійно зростаючої складової кількості спожитої електроенергії, кВт·год;

$W_2, W_3 \dots W_i$  – коефіцієнти змінної складової спожитих об'ємів електричної енергії, кВт·год;

$t_0, t$  – початковий і кінцевий час фіксації споживання електричної енергії, год;

$t_1$  – поточний час доби, від якого залежить кількість спожитої електроенергії,  $t_0 \leq t_i \leq t$ , год;

$T$  – загальний час доби,  $T = 24$  год;

$\pi$  – константа циклічних змін,  $\pi = 3,14$  у.о.

Нехай споживач зможе отримувати енергію від централізованої системи або локальної системи через певні проміжки часу:

– від СЕП - з  $0 \leq t_1 \leq 8$  і  $21 \leq t_2 \leq 24$  в години доби;

– від ЛС – з  $8 \leq t \leq 21$  в години доби.

Обсяги електричної енергії з СЕП і ЛС визначаються за допомогою системи рівнянь:

$$W_{СЕП} = \begin{cases} W(t), 0 \leq t < t_1 \\ W(t_1), t_1 \leq t < t_2 \\ W(t) - [W(t_2) - W(t_1)], t_2 \leq t < 24 \end{cases} \quad W_{ЛС} = \begin{cases} 0, 0 \leq t < t_1 \\ W(t) - W(t_1), t_1 \leq t < t_2 \\ W(t_2) - W(t_1), t_2 \leq t < 24, \end{cases} \quad (2)$$

де  $W_{СЕП}(t)$ ,  $W_{ЛС}(t)$  – відповідно, кількість енергії, що отримується споживачем від системи електропостачання і локальної системи в  $t$  годин, кВт·год;

$W(t_1)$ ,  $W(t_2)$  – відповідно, кількість енергії, що отримується споживачем в годинах  $t_1$  і  $t_2$ , кВт·год.

Рівняння системи, що описує процес споживання електроенергії з КСЕП, має вигляд:

$$W_{КСЕП}(t) = W_{СЕП}(t) + W_{ЛС}(t), \quad (3)$$

Коефіцієнти рівняння (1)  $W_2, W_3, \dots, W_n$  визначаються за допомогою програми MATHCAD з використанням вбудованої функції Linfit [12]. Як приклад на рисунку 2 наведено результати розрахунків коефіцієнтів ( $W_n$ ) добових графіків електропостачання державного підприємства науково-дослідної частини (ДПНДЧ) «Гонтарівка» у весняно-осінній сезон.

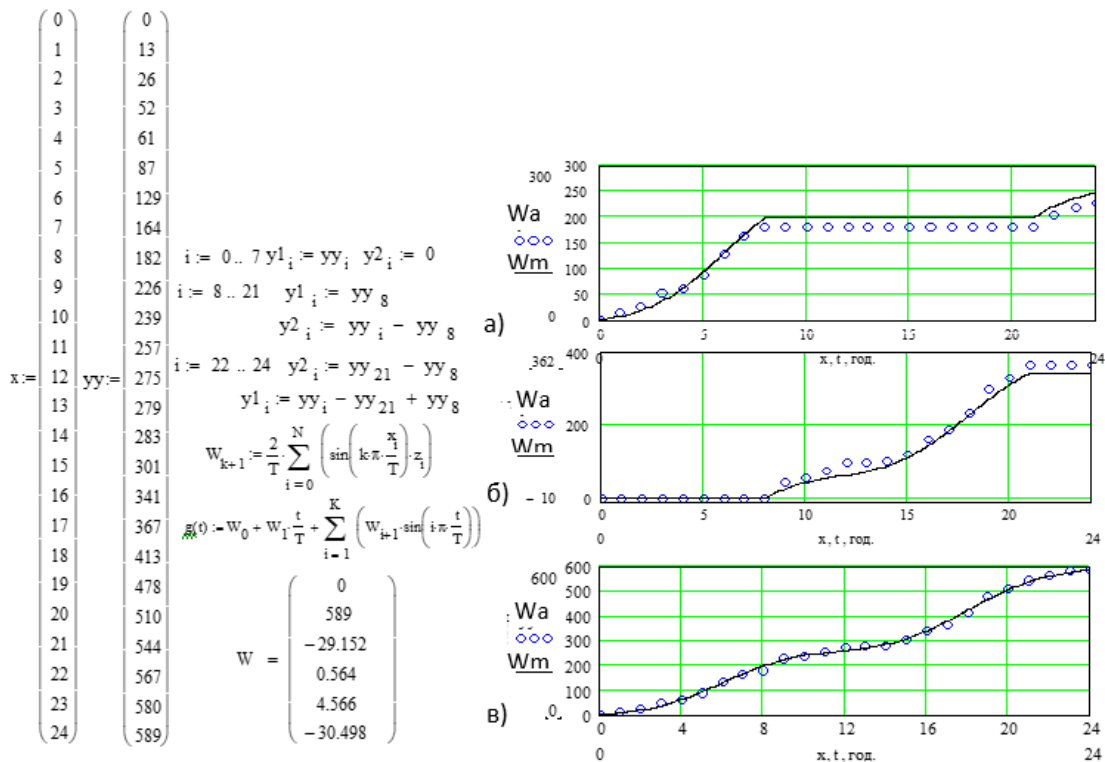


Рис. 2. Збіг обсягів активного споживання електричної енергії, визначений експериментально ( $W_a$ ) і за рівнянням (2) – ( $W_m$ ), за умови, що споживачі живляться від: а) – СЕП; б) – ЛС; в) – КСЕП

При цьому коефіцієнти рівняння (1) мають значення:

$$W_2 = -29,152; W_3 = 0,564; W_4 = 4,566; W_5 = -30,498.$$

Алгоритм обґрунтування прогнозованого обсягу споживання електричної енергії з КСЕП розв'язується за допомогою комп'ютерної обробки даних. При введенні вхідних даних необхідно враховувати:

$x \rightarrow t$  – час доби,  $t = 0 \dots 24$  год;

$i \rightarrow t_1, t_2$  – години доби, в яких використовуються джерела енергії, відповідно, СЕП і ЛС, год;

$yy \rightarrow W_{КСЕП}$  – сумарні добові обсяги спожитої споживачем електричної енергії від КСЕП, кВт·год;

$y_1 \rightarrow W_{СЕП}$  – погодинне споживання електричної енергії споживачем з СЕП, кВт·год;

$y_2 \rightarrow W_{ЛС}$  – погодинне споживання споживачем електричної енергії від ЛС, кВт·год.

Коефіцієнти  $W_0$  і  $W_1$  мають фіксоване значення, яке відповідає початковим і кінцевим показникам лічильника протягом доби – 0 і 589 кВт·год. Якщо прийняти постійні значення коефіцієнтів споживання електроенергії від КСЕП, СЕП, ЛС, рішення спрощується. У таблиці 1 наведені прогнозовані обсяги споживання електроенергії з СЕП і ЛС.



Таблиця 1

Розрахункове споживання електроенергії від СЕП ( $W_{СЕП}$ ) та ЛС ( $W_{ЛС}$ )

$t$ , год	0	1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	12
$y_1$	0	13	26	52	61	87	129	182	182	182	182	182
$y_2$	0	0	0	0	0	0	0	0	44	57	75	93
$t$ , год	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$y_1$	182	182	182	182	182	182	182	182	182	205	218	227
$y_2$	97	101	119	159	185	231	296	328	362	362	362	362

Величина середньодобового відхилення фактичних даних енергоспоживання ДПНДЧ «Гонтарівка» і теоретичних, отриманих шляхом комп'ютерної обробки залежності (1) і системи рівнянь (2), не перевищує 5%. Результати обчислень були отримані з використанням залежності (4)

$$\delta = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N (W_a - W_m)^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N W_a} \cdot 100, \quad (4)$$

де  $N$  – кількість показань лічильника за часовий інтервал.

Таким чином, використання рівняння (1) дозволяє:

– охарактеризувати закономірності споживання електроенергії існуючими споживачами, які працюють за стандартними графіками навантаження, незалежно від його характеру: промислових, змішаних, побутових;

– визначити прогностичні добові обсяги споживання електроенергії з СЕП та ЛС у відповідні години доби.

Для зменшення набору альтернативних рішень та умов невизначеності рекомендується оцінювати економічний ефект від впровадження ВДЕ на ранніх стадіях проектування. За розрахунковими лімітами витрат здійснюється обґрунтування і склад ЛС [29-31], визначаються потужності і типи установок в залежності від прийнятих лімітів витрат.

Відповідно до ДСТУ 3886-99 «Енергозбереження» критерієм дії енергозберігаючих заходів (ЕЗЗ) при розгляді різних варіантів є:

$$E_t = I_t - C_t, \quad (5)$$

де  $E_t$  – економічний ефект від впровадження КСЕП за звітний період;

$I_t$  – оцінка результатів доходу від КСЕП за розрахунковий період;

$C_t$  – кошторис витрат на впровадження та експлуатацію КСЕП за розрахунковий період.

Завданням першого етапу є обґрунтування варіантів використання ВДЕ в системі електропостачання споживачів агропромислового комплексу. Виконується шляхом визначення значення диференційованого економічного показника (ДЕП) від



впровадження КСЕП у порівнянні з існуючими показниками СЕП за  $t$ -й рік з урахуванням [9,25], виконується за формулою:

$$\Delta I_t = C_{ts} - C_{tc} = C_{ts} - (\Delta C_{ts} + \Delta C_{tl}), \quad (6)$$

де  $\Delta I_t$  – значення ДЕП від впровадження КСЕП за  $t$ -й рік, грн;

$C_{ts}$  – грошові витрати на закупівлю енергоносіїв у СЕП за  $t$ -й рік, грн;

$C_{tc}$  – грошові витрати на отримання сумарного обсягу різних видів енергії з КСЕС за  $t$ -й рік, грн;

$\Delta C_{tl}$ ,  $\Delta C_{ts}$  – відповідно, частка витрат на отримання різних видів енергії з локальних і централізованих систем в рамках КСЕС за  $t$ -й рік, грн.

Дослідження зміни ДЕП проводилося для умов, коли ЛС, як компонент КСЕП, генерує тільки електричну енергію. При цьому величина економічного ефекту може змінюватися в залежності від часу. Це пов'язано з тим, що відбувається вплив циклічних змін добових і сезонних навантажень, тарифів, споживання і виробництва енергії ЛС (рис. 2). За результатами аналізу (6) встановлено ймовірність настання як позитивних, так і від'ємних значень ДЕП:  $\Delta I < 0$ ,  $\Delta I = 0$ ,  $\Delta I > 0$ . Позитивне значення ДЕП ( $\Delta I > 0$ ) можна прирівняти до меж витрат на реалізацію локальної системи електропостачання [26-28], що дасть можливість спрогнозувати величину економічного ефекту, а саме:

$$0 < \Delta C < \Delta I. \quad (7)$$

Дослідження для обґрунтування  $\Delta C$  будуть проводитися за фактичними даними добових електричних навантажень споживачів ДПНДЧ «Гонтарівка» навесні.

Оцінка граничних витрат  $\Delta C$  від використання КСЕП в ДПНДЧ «Гонтарівка» проводиться з урахуванням системи рівнянь (2):

$$\Delta C_\tau = \Delta y \cdot (\beta_\tau - \alpha_\tau) = \left[ \begin{array}{l} 0, 0 \leq t < t_1 \\ W(t) - W(t_1), t_1 \leq t < t_2 \\ W(t_2) - W(t_1), t_2 \leq t < 24 \end{array} \right] \cdot (\beta_\tau - \alpha_\tau), \quad (8)$$

де  $\Delta y$  – обсяги споживання електроенергії з ЛС, кВт·год;

$\beta_\tau$  – тариф на електроенергію з СЕП на момент часу  $\tau$ , грн/кВт·год;

$\alpha_\tau$  – умовна вартість виробленої електроенергії ЛС, грн/кВт·год.

Для вивчення  $\Delta C$  в динаміці в залежності від часу доби була розроблена програма [13,26], алгоритми якої представлені на рисунку 3.



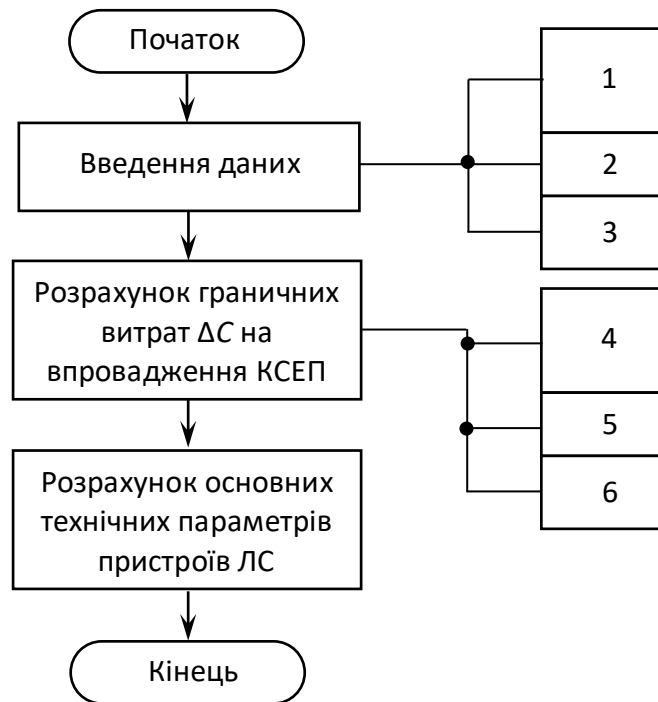


Рисунок 3. Структурна схема алгоритму визначення  $\Delta C$  та основних технічних параметрів пристроїв локальної системи електропостачання, куди входять вхідні компоненти програми:

1 – введення в програму рівняння (1) і його коефіцієнтів, що характеризують обсяги вироблення електроенергії з ЛС;

2 – введення в програму рівняння (7), що характеризує зміни  $\Delta C$ ;

3 – присвоєння значень  $\beta$ ,  $\alpha$ ;  $t_i$ ,  $K_Z$ ,  $W(1-i)$ ;

4 – визначення зон ефективності використання ВДЕ в залежності від часу  $t$  і тарифного коефіцієнта  $K_Z$ ;

5 – визначення ліміту витрат  $\Delta C$ ;

6 – визначення ліміту витрат  $\Delta C$  з урахуванням напрацювання протягом доби  $t$  і зони зміни тарифу  $\beta$ .

**Результати досліджень.** Виконання програмних розрахунків виконується в пакеті математичних програм MATLAB.

При тризонній зміні тарифів на електроенергію на рис. 4 представлені зони, для яких визначені більш перспективні добові зміни  $\Delta C$ .

За результатами аналізу отриманої номограми проведемо дослідження зміни вартісної межі  $\Delta C$  і вартості електроенергії  $C_e$ , виробленої ЛС протягом доби. Найнижча собівартість виробленої енергії спостерігається з 8.00 до 10.00 та з 17.00 до 21.00 години при максимальному значенні допустимих витрат  $\Delta C$  на реалізацію проекту. Позитивного економічного ефекту можна досягти і при експлуатації ЛС з 6.00 до 23.00 години. При цьому середнє значення  $\Delta C$  за  $j$ -й сезон дорівнює:

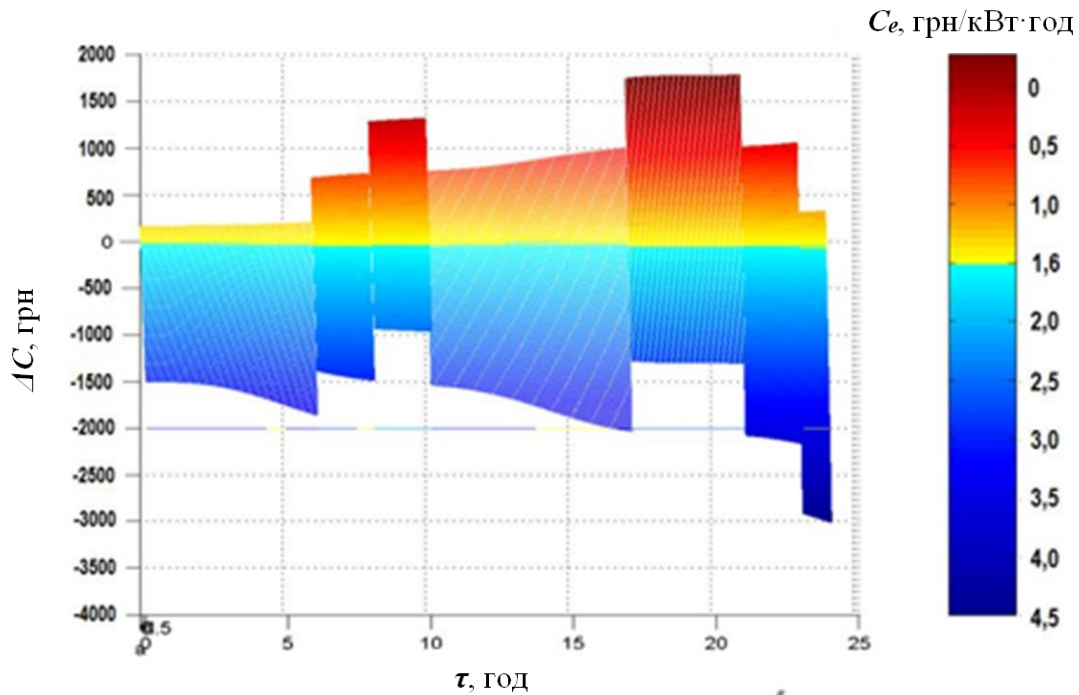


Рис. 4. Номограма зміни ліміту витрат  $\Delta C$  і вартості виробленої електроенергії  $C_e$  за часом доби

$$\Delta C_j = \frac{\sum_{t_n}^{t_k} \Delta C_t}{N_j \cdot t_j}, \quad (9)$$

де  $\sum_{t_n}^{t_k} \Delta C_t$  – сума погодинних значень  $\Delta C$  за  $n$ -ну кількість днів

$j$ -го сезону, грн·год;

$t_n, t_k$  – відповідно, початковий і кінцевий час роботи споживача від ЛС за добу  $j$ -го сезону, год;

$t_j$  – час роботи споживача за період доби з ЛС за  $j$ -й сезон, год;

$N_j$  – кількість днів у  $j$ -му сезоні.

Визначення допустимих прогнозованих річних витрат на впровадження та експлуатацію ЛС на ранніх стадіях проектування дозволить зосередитися з економічної точки зору на виборі пристроїв відновлюваної енергетики, реалізація яких забезпечить споживачеві позитивний економічний ефект.

#### Висновки.

1. Сумарна розбіжність залежності, яка інтерпретує величину споживання електроенергії різними групами споживачів СЕП, не перевищує 5%, що дозволяє рекомендувати її для:





- прогнозування споживання електроенергії за поточними, нормативними та теоретичними графіками навантаження, незалежно від характеру їх зміни;
- визначення добових обсягів енергоспоживання з СЕП та ЛС у складі КСЕП незалежно від строків використання ВДЕ;
- визначення потужності силових установок локальних систем, пристроїв автоматики тощо.

2. Встановлено, що запропонований підхід до комплексного обґрунтування кейсів використання ВДЕ, що базується на оригінальних техніко-економічних показниках, алгоритмі, методології та програмному забезпеченні їх розрахунку, дозволяє скоротити кількість варіантних рішень та визначити позитивні та негативні сторони функціонування КСЕП вже на перших етапах техніко-економічної оцінки ефективності впровадження КСЕП та використання ВДЕ з споживачами СЕП.

#### *Список використаних джерел*

1. Nilorme T., Karpenko L., Fedoruk O., Shevchenko I., Drobyazko S. Innovative Methods of Performance Evaluation of Energy Efficiency Projects. *Academy of Strategic Management Journal*. 2018. Vol. 17(2). Print.
2. Trunova I., Miroshnyk O., Savchenko O., Moroz O. The perfection of motivational model for improvement of power supply quality with using the one-way analysis of variance. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2019. Vol. 6. P. 163–168. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/24>.
3. Miroshnyk O. O., Tymchuk S. O. Uniform distribution of loads in the electric system 0,38/0,22 kV using genetic algorithms. *Technical Electrodynamics*. 2013. Is. 4. P. 67–73. <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84885913005&partnerID=MN8TOARS> (дата звернення 03.01.2024).
4. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Kvitka S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Energy saving in electromechanical grain cleaning systems. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol.12(3). P. 1418. <https://doi.org/10.3390/app12031418>.
5. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(10). P. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.
6. BP Statistical Review of World Energy. 2019. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/>



pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2019-full-report.pdf (дата звернення 26.12.2023).

7. Tymchuk S., Miroshnyk O. Assess electricity quality by means of fuzzy generalized index. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. № 3/4(75). P. 26–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.42484>.

8. Karp I., Nikitin Y., Pyanykh K. Renewable sources in the energy supply systems of Ukrainian cities. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. № 1. P. 40–49. <https://doi.org/10.15407/techned2021.01.040>.

9. Kirichenko M. V., Drozdov A. N., Zaitsev R. V. Design of Electronic Devices Stress Testing System with Charging Line Based Impulse Generator. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology*. 2020. P. 38–42.

10. Zharkin A., Novskiy V., Popov V., Yarmoliuk O. Improving the efficiency of distribution network control under the conditions of application of distributed sources generation of electrical energy and means of its accumulation. *Tekhnichna Elektrodynamika*. 2021. № 3. P. 37–44. <https://doi.org/10.15407/techned2021.03.037>.

11. Khrypunov M. G., Zaitsev R. V., Kudii D. A., Khrypunova A. L., Amplitude-time characteristics of switching in thin films of cadmium telluride. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2018. Vol. 10(1). P. 01016.

12. Tymchuk S., Miroshnyk O. Calculation of energy losses in relation to its quality in fuzzy form in rural distribution networks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 1(8). P. 4–10 <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.36003>.

13. Kudii D. A., Khrypunov M. G., Zaitsev R. V., Khrypunova A. L. Physical and Technological Foundations of the "Chloride" Treatment of Cadmium Telluride Layers for Thin-film Photoelectric Converters. *Journal of Nano- and Electronic Physics*. 2018. Vol. 10(3). P. 03007.

14. Hilorme T., Karpenko L., Fedoruk O., Shevchenko I. and Drobyazko S. Innovative Methods of Performance Evaluation of Energy Efficiency Projects. *Academy of Strategic Management Journal*. 2018. Vol. 17(2). P. 1544–1458.

15. Suganthi L., Iniyan S., Anand S. A. Applications of fuzzy logic in renewable energy systems. *A review*. 2015. Vol. 48. P. 585–607.

16. Fomichev V. On the efficiency of energy production in optimizing the parameters of socio-economic balance. *Mining of Mineral Deposits*. 2016. Vol. 10. P. 89–95.

17. Qawaqzeh M., Zaitsev R., Miroshnyk O., Kirichenko M., Danylchenko D., Zaitseva L. High-voltage DC converter for solar power station. *International journal of power electronics and drive system*. 2020.



Vol. 11(4). P. 2135–2144. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v11.i4.pp2135-2144>.

18. Qawaqzeh M., Szafraniec A., Halko S., Miroshnyk O., Zharkov A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power plant. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. № 96. P. 36–40, <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.

19. Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Influence of temperature on energy performance indicators of hybrid solar panels using cylindrical cogeneration photovoltaic modules. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week)*. 2021. P. 132–136. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9569975>.

20. Halko S., Halko K., Suprun O., Qawaqzeh M., Miroshnyk O. Mathematical modelling of cogeneration photoelectric module parameters for hybrid solar charging power stations of electric vehicles. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week)*. 2022. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916397>.

21. Halko S., Miroshnyk O., Buinyi R., Moroz O., Savchenko O., Qawaqzeh M. Use of solar cogeneration modules for charging batteries of electric vehicles. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312843>.

22. Qawaqzeh M. Z., Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Zharkov A. Modelling of a household electricity supply system based on a wind power plant. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96(11). P. 36–40. <https://doi.org/10.15199/48.2020.11.08>.

23. Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Figura R., Zharkov A., Vershkov O. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind-electric heater. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97(8). P. 36–41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

24. Al\_Issa H. A., Qawaqzeh M., Khasawneh A., Buinyi R., Bezruchko V., Miroshnyk O. Correct cross-section of cable screen in a medium voltage collector network with isolated neutral of a wind power plant. *Energies*. 2021. Vol. 14. P. 3026. <https://doi.org/10.3390/en14113026>.

25. Pazyi V., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Savchenko O., Halko S. Analysis of technical condition diagnostics problems and monitoring of distribution electrical network modes from smart grid platform position. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. P. 57–60. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250080>.

26. Olatomiwa L., Mekhilef S., Huda A., Olayinka S. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geopolitical zones of Nigeria. *Renewable Energy*. 2015. Vol. 83. P. 435–446.



27. Aslani A., Helo P., Naaranoja M. Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. *Applied Energy*. 2014. Vol. 113. P. 758–765.
28. Семененко І. В. Проектування біогазових станцій. Суми: ТОВ «ПФ Макден ІПП «Мрія-1», 1996. 347 с.
29. Галько С. В. Використання когенераційних фотоелектричних модулів для зарядки акумуляторів електромобілів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 130–141. <https://doi.org/10.31388/2078-0877-19-3-130-141>.
30. Галько С. В. Експериментальне дослідження і визначення параметрів когенераційного фотоелектричного модуля для гібридних сонячних електростанцій. *Традиційні та інноваційні підходи до наукових досліджень: матеріали Міжнар. наук. конф.*, 10 квіт. 2020 р. Луцьк, 2020. Т. 1. С. 83-90. <https://doi.org/10.36074/10.04.2020.v1.10>.
31. Belik M. Weather dependent mathematical model of photovoltaic panels. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2017. Vol. 1(15). P. 698–701.
32. Belik M. Emergency island grids with small hydro power stations. *In Proceedings of the 10th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, Elektroenergetika 2019*. 2019. P. 116–121.
33. Voytenko V., Stepenko S., Velihorskyi O., Chakirov R., Roberts D., Vagapov Y. Digital control of a zero-current switching quasi-resonant boost converter. *2015 Internet Technologies and Applications (ITA)*. Wrexham, UK. 2015. P. 365–369. <https://doi.org/10.1109/ITechA.2015.7317428>.

*Стаття надійшла до редакції 07.02.2024 р.*



<sup>1</sup>Dmytro Motorny Tavsria State Agrotechnological University  
<sup>2</sup>State Biotechnological University

**DEVELOPMENT OF ALGORITHM FOR THE OPERATION  
OF A COMBINED POWER SUPPLY SYSTEM  
WITH RENEWABLE SOURCES**

*Summary*

Algorithms of forecast changes in the volume of electricity consumption from centralized and local sources as part of a combined power supply system are presented.

In the complex of tasks of energy supply, the use of renewable sources is justified in many areas of activity: energy efficiency and efficiency of fossil fuels used for centralized energy supply; reducing the share of energy in the cost of agricultural products and the impact on the environment. Renewable energy has its own peculiarities, for example, more expedient use in local integrated energy supply systems. The relevant features and directions should be taken into account both in autonomous use and in the construction of combined power supply systems.

The dependence of integrated accounting of hourly, daily and seasonal changes in electricity consumption on centralized and local energy supply systems has been developed. It is proposed to use an improved method of feasibility study of investment decisions at the stages of formalization of the technical task, based on the assessment of projected allowable costs for the construction of local power supply, which will allow consumers to have a positive economic effect and reduce the number of alternative solutions.

The total discrepancy of the dependence, which interprets the amount of electricity consumption by different groups of consumers of the power supply system, does not exceed 5%, which allows us to recommend it for: forecasting electricity consumption according to current, regulatory and theoretical load schedules, regardless of the nature of their change; determination of daily volumes of energy consumption with the power supply system and the local system as part of the combined power supply system, regardless of the terms of use of renewable energy sources; determination of the power of power plants of local systems, automation devices, etc.

It is determined that the proposed approach to the comprehensive substantiation of cases for the use of renewable energy sources, based on the original technical and economic indicators, algorithm, methodology and software for their calculation, allows to reduce the number of options and determine the positive and negative aspects of the functioning of the combined power supply system already at the first stages of the technical and economic assessment of the efficiency of its implementation.

**Keywords:** renewable energy, local energy supply system, power supply, mathematical model, energy efficiency